

Efecto del cambio y la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en la zona central cafetera de Colombia.

**Luis M. Constantino¹, Zulma N. Gil ², Alvaro Jaramillo ³, Pablo Benavides M ⁴
Alex E. Bustillo ⁵**

¹ Investigador Científico I, Cenicafé, luismiguel.constantino@cafedecolombia.com

² Investigador Científico I, Cenicafé, zulma.gil@cafedecolombia.com

³ Investigador Científico III, Cenicafé, alvaro.jaramillo@cafedecolombia.com

⁴ Investigador Científico II, Cenicafé, pablo.benavides@cafedecolombia.com

⁵ Entomólogo I, Programa de Variedades, Cenicaña alexe.bustillo@gmail.com

Introducción

Los cambios en el clima no solo afectan a los cultivos, sino también a las plagas y enfermedades. La mayor parte de las especies tienen asociado un rango térmico, de humedad y de radiación, relacionado con su fenología y fisiología. Además, como consecuencia del aumento de la temperatura y la variación en el reparto de las precipitaciones asociadas al Cambio Climático, numerosas especies van a ver modificado su hábitat aumentando o disminuyendo su rango de distribución. Con un aumento proyectado en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C, y una variación en la precipitación entre $\pm 15\%$ (IDEAM 2007) para los próximos 50 años puede ocasionar cambios de adaptación en las poblaciones de los insectos entre los diferentes rangos altitudinales, tales como cambios en el comportamiento con sus hospedantes, generar alteraciones y desfases en la sincronización de periodos de actividad de insectos huésped e insectos parasitoides, así como afectar el crecimiento y abundancia, la supervivencia, las tasas de alimentación y ciclos de vida de los insectos herbívoros (Walther *et al.*, 2002., Parmesan 2006., Menéndez 2007., Hill *et al.* 2011). Por lo tanto, el conocimiento de la variación natural del clima y de los impactos del cambio climático sobre los insectos, plaga y benéficos, constituyen un tema importante tanto para la prevención de problemas fitosanitarios como para el desarrollo de estrategias de adaptación a los cambios esperados.

Las predicciones para el clima futuro indican no sólo un aumento de la temperatura media del planeta a lo largo de este siglo, sino patrones de cambio muy claros, como un mayor calentamiento en latitudes altas (hacia los polos) que cerca del ecuador, y en las montañas. Esto significa que muchas especies podrían ser capaces de colonizar y adaptarse a nuevos territorios antes inaccesibles para ellas al encontrarse climas aptos donde hasta hace poco hacía demasiado frío (IPCC 2007). Por otra parte un 20-30% de las especies vegetales y animales evaluadas hasta la fecha estarían sujetas probablemente a un mayor riesgo de extinción si el aumento del promedio mundial de temperatura excediese de 1,5-2,5°C por encima de los niveles normales, especialmente crítico para numerosos sistemas únicos y amenazados y, en particular, para numerosas regiones de alta biodiversidad en el trópico (IPCC 2007). Para el caso de la región andina de Colombia con sus tres cordilleras y macizos montañosos es uno de los ecosistemas mas vulnerables al cambio climático. El cultivo de café (*Coffea arabica*) en Colombia esta ampliamente distribuido en toda la zona andina del país en un rango altitudinal entre 1.000-2.000 m.s.n.m abarcando una area cultivada de 910.000 has (SICA-FNC 2011), del cual subsisten mas de 500.000 familias campesinas, siendo el principal cultivo de exportación en Colombia.

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) es la principal plaga del cultivo en Colombia y en todas las zonas productoras de café en el mundo. Es una especie monófaga específica del género *Coffea* que se alimenta y reproduce exclusivamente de la almendra del café, razón por la cual esta plaga está ampliamente distribuida en toda la zona cafetera del país, afectando más de 850.000 has del cultivo, en todo el rango altitudinal favorable para el cultivo del café, que está entre los 18 a 22°C. Debido a la fenología del cultivo del café, con dos cosechas al año en la zona central cafetera, la broca tiene alimento durante todo el año. Dentro de la variación altitudinal del cultivo, existe una relación entre la dinámica de infestación de la broca y la altitud, siendo mayor el desarrollo del insecto en localidades bajas, por debajo de 1.200 m.s.n.m con temperaturas superiores a 21°C, y el desarrollo es menor en sitios por encima de 1.600 m, con temperaturas medias por debajo de 19°C (Constantino 2010).

El daño lo causa la hembra al perforar los frutos de café hasta el endospermo donde construye una cámara para depositar entre 150-200 huevos, de los cuales emergen las larvas que destruyen gran parte de la semilla, causando la pérdida parcial o total del grano, la pérdida de peso y la depreciación en la calidad del grano (Bustillo 2006, 2008). La hembra fundadora que tiene una longevidad de 150 días permanece dentro del fruto de café con toda su progenie y si los frutos se caen al suelo, el insecto continúa reproduciéndose durante dos o más generaciones (Baker 1999). Los machos de la broca son ápteros y ocurren en una proporción de 1:10 hembras por lo que permanecen todo el tiempo dentro de los frutos apareándose con sus hermanos (Benavides 2008, Bustillo 2008) siendo los frutos secos y sobremaduros que quedan después de la cosecha los que representan el mayor riesgo de reinfestaciones posteriores en el árbol (Cárdenas 1991).

La dinámica de infestación de la broca del café está influenciada por los factores climáticos como la precipitación y la humedad relativa y el estado fisiológico de los frutos de café (Jaramillo *et al.* 2008), siendo el período crítico para el café cuando los frutos han alcanzado un 20 % de peso en materia seca o sea cuando han alcanzado 120 días de desarrollo (Salazar *et al.* 1993, Ruiz 1996). En los frutos sobremaduros y secos que quedan en el árbol y en el suelo después de la cosecha pueden albergar entre 10 hasta 150 adultos y allí permanecen hasta que las condiciones ambientales le sean favorables para su reproducción. Cuando el período de lluvias llega, se inicia la emergencia de las brocas que van a colonizar nuevos frutos en el árbol. Esta emergencia de brocas se incrementa considerablemente después de períodos prolongados de déficit hídrico ocasionados por los eventos climáticos de El Niño donde hay mayor emergencia de adultos de broca con el inicio de las primeras lluvias (Figura 1).

Neutro 2007

La Niña 2008

El Niño 2009



Figura 1. Balance hídrico en la localidad de Paraguaicito, Quindío a 1218 m durante tres periodos climáticos diferentes (Fuente: Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé).

Efecto de la temperatura en el desarrollo de la broca del café

La distribución territorial de los insectos y el tiempo generacional son afectados por las condiciones climáticas, especialmente por las temperaturas. La temperatura ambiental es determinante para la reproducción y el desarrollo de los insectos. Generalmente a mayor temperatura el desarrollo es más rápido, es decir, el tiempo requerido para una determinada etapa del desarrollo se acorta. La razón está en que a mayor temperatura se aceleran los procesos fisiológicos del organismo. Todo ser vivo, planta o animal, es sensible a una temperatura mínima, óptima y máxima. Esto determina la distribución de los organismos por zonas climáticas, debido a las adaptaciones a la temperatura ambiental.

La influencia de la temperatura sobre el proceso de reproducción y el número de descendientes es determinante en muchos casos. Por ejemplo, la duración del ciclo de vida de la broca del café *H. hampei* demora 63 días a 19° C y sólo 20,3 días a 30° C bajo condiciones de laboratorio (Mendes, 1949, Jaramillo *et al.* 2009) (Tabla 1). Sin embargo en condiciones de campo los tiempos en la duración del ciclo de vida se alargan debido a la variación de las temperaturas máximas, y mínimas que ocurren durante la noche y el día. Por ejemplo a 22°C el tiempo generacional de la broca tarda en promedio 45 días y 60 días para una temperatura de 19°C en la zona central cafetera (Bustillo 2006)

Tabla 1. Efecto de la temperatura en el tiempo generacional de la broca del café *H. hampei* bajo condiciones de laboratorio

Autor	Huevo	Larva	Prepupa	Pupa	Total	T (°C)
Mendes, 1949	13,5	29,5	6,0	14,0	63,0	19,2
Vargas, 2006	8,0	12,0	6,0	10,0	36,0	21,0
Mendes, 1949	6,0	14,0	4,0	8,0	32,0	22,0
Montoya, 1993	6,5	12	2,5	4,0	25,0	23,0
Bergamín, 1943	5,5	12,5	3,5	6,0	27,5	24,5
Bustillo <i>et.al.</i> , 1996	6,0	12,0	2,0	6,0	26,0	25,0
Romero, 2003	4,0	10,0	2,0	4,0	20,0	26,0
Mendes, 1949	4,0	11,0	2,0	4,0	21,0	27,0
Jaramillo <i>et al.</i> , 2009	4,3	7,0	5,0	5,2	21,8	27,0
Jaramillo <i>et al.</i> , 2009	3,3	5,7	5,3	6,0	20,3	30,0

El metabolismo de los insectos está muy influenciado tanto por las actividades del mismo insecto como por las condiciones externas que lo rodean, tales como la temperatura, humedad y atmósfera. Los insectos son organismos ectotermos, no pueden regular su temperatura corporal, o sea que dependen de la temperatura del ambiente y obtienen el calor exponiéndose a la radiación solar; a su vez lo disipan mediante evaporación, conducción o convección. Dentro de ciertos límites, los insectos pueden modificar la temperatura de su cuerpo. En medios muy cálidos, los insectos de mayor tamaño corporal pueden reducir su temperatura por evaporación de agua a través de la cutícula del cuerpo. En climas muy fríos los cambios producidos en el cuerpo pueden elevar su temperatura por encima de lo ambiental. Sin embargo en condiciones extremas de alta temperatura, los insectos pueden perder agua por desecación por las altas temperaturas que se encuentren por encima de los umbrales máximos de tolerancia térmica de desarrollo para el insecto que resultarían perjudiciales para su vida (Ross 1982)

La temperatura es la variable climática mas importante que afecta directamente el desarrollo biológico de los insectos y seres vivos, afectando el numero de generaciones al año, el rango de distribución, la interacción con sus plantas y enemigos naturales y el

comportamiento conductual (Deutsch *et al.* 2008, Thomson *et al.* 2010). El conocimiento de la constante térmica de desarrollo es esencial para predecir los efectos del cambio climático en un organismo dado. Para el caso de la broca del café, los umbrales mínimos y máximos de tolerancia térmica de desarrollo del insecto se han determinado en 15,12°C y 32°C respectivamente (Mendes 1949, Jaramillo *et al.* 2009), es decir que por debajo o por encima de dicho rango de temperatura la broca cesa por completo su desarrollo y oviposición (Figura 1).

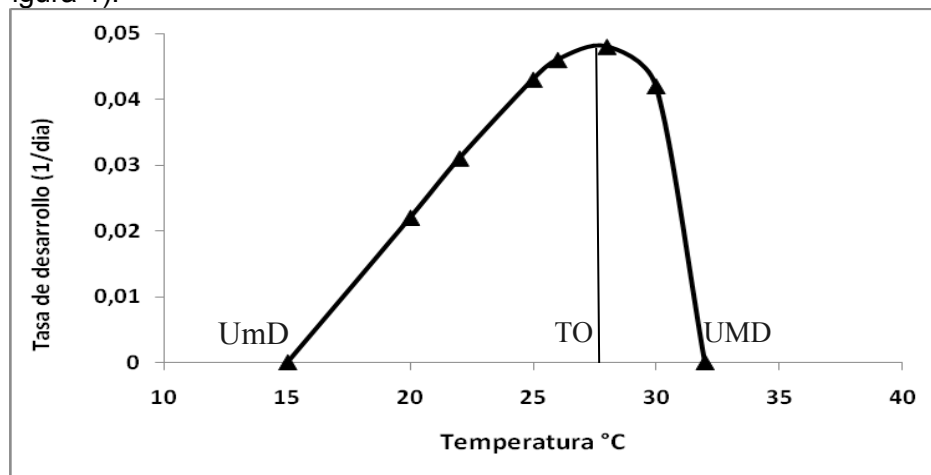


Figura 1. Tolerancia térmica de la broca del café *H. hampei* a diferentes temperaturas (UmD: Umbral mínimo de desarrollo; TO: Temperatura Óptima; UMD: Umbral Máximo de desarrollo (Fuente: Jaramillo *et al.* 2009)

Mediante modelos de regresión lineal y registros climáticos es posible predecir el efecto del incremento de la temperatura en el desarrollo de la broca del café. El modelo muestra que por cada incremento de 1°C en la temperatura térmica óptima (T_{opt}), el porcentaje máximo de crecimiento intrínseco (r_{max}) de la broca aumenta en promedio 8,5% (Jaramillo *et al.* 2009). Montoya (1992) y Ruiz (1996) asumiendo un umbral mínimo de desarrollo para la broca de 16,5°C calcularon la constante térmica (K) o tiempo fisiológico de desarrollo para un ciclo biológico completo del insecto. Esta constante expresa las unidades de calor acumulado requerido para completar su desarrollo y se mide en grados-día (un grado-día equivale a un grado centígrado por encima del umbral mínimo de desarrollo del insecto en un periodo de 24 horas). Por ejemplo para la broca del café los grados-día acumulados necesarios para el desarrollo del ciclo completo desde oviposición hasta obtener un adulto completamente melanizado es de 228 grados-día en los machos y 245 grados-día en las hembras a una temperatura base de 16,5°C. Por ejemplo por cada 0,2°C de incremento en la temperatura media, el tiempo fisiológico de desarrollo de la broca se disminuye de 245°D a una temperatura de 16,5°C hasta 53,2°D a una temperatura de 21,5°C. Para cada día se calculan, por tanto, la diferencia entre la temperatura media diaria y el umbral mínimo de desarrollo: °D = temperatura media – temperatura umbral mínima o temperatura mínima efectiva (T_o) que para el caso de la broca del café es de 15,1°C (Tabla 2).

Tabla 2. Constante térmica de desarrollo de la broca del café *H. hampei* (grados día) en un rango de 16,5 a 21,5°C estimada con una temperatura mínima efectiva (T_o) de 15,12 °C (Mendes 1949)

T°C	T-To	°D	T°C	T-To	°D
16,5	1,38	245,0	19,2	4,13	82,2
16,7	1,58	214,1	19,5	4,38	77,5
17,0	1,88	180,4	19,7	4,63	73,3
17,2	2,13	159,3	20,0	4,88	69,5
17,7	2,63	129,0	20,2	5,13	66,1
18,0	2,88	117,8	20,5	5,38	63,1
18,2	3,13	108,4	20,7	5,63	60,3
18,5	3,38	100,4	21,0	5,88	57,7
18,7	3,63	93,5	21,2	6,13	55,4
19,0	3,88	87,4	21,5	6,38	53,2

Efecto de la humedad relativa en la broca del café

La humedad relativa está estrechamente relacionada con la salida de la broca de los granos. La mayor emergencia de la broca de frutos infestados se incrementa con humedades altas entre 90 y 100% H.R y es menor por debajo de 80%. Igualmente a mayor humedad (90 % y 93,5% H.R) se incrementa la fecundidad (Baker *et al.*, 1992). En un estudio en la zona central cafetera (Constantino *et al.*, 2010, sin publicar) los frutos que caen al suelo en periodos secos perduran más tiempo, y el desarrollo de la broca es mayor por el aumento de la temperatura media en comparación con un periodo lluvioso donde la descomposición de los frutos es mas rápida, lo cual ocasiona alta mortalidad de los estados biológicos de la broca por falta de alimento y en consecuencia el desarrollo y emergencia de la broca es menor.

Respuesta potencial de los insectos frente al cambio climático

El clima influye en el desarrollo y la distribución de los insectos. Estos aumentos de temperatura y los cambios en el clima puede resultar en cambios en la distribución geográfica y altitudinal de las especies, los cambios en las tasas de crecimiento de la población, el aumento del número de generaciones, la extensión o disminución del desarrollo de los ciclos de vida, los cambios en la sincronía de las plagas, los cambios en las interacciones interespecíficas y un mayor riesgo de invasión por plagas migratorias (Parmesan, 2007; Porter *et al.*, 1991, Menéndez 2007, Robinet y Roques, 2010). A pesar de la escasez de series de datos temporales, existe evidencia de efectos directos del cambio climático ocurrido hasta el presente para algunas especies de insectos europeos y de Norteamérica. Así se han detectado importantes cambios en la biología de algunas poblaciones, con adelantos y en ciertos casos retrasos en procesos de inicio de actividad, llegada de migración o reproducción. Igualmente, los desajustes entre predadores y sus presas debido a respuestas diferenciales al clima, la distribución de ciertas especies hacia el norte o hacia mayores altitudes, lo que para ciertas especies de montaña está significando una clara reducción de sus áreas de distribución (Parmesan 2007), sin embargo estos cambios en el clima y la temperatura no siempre están asociados con el cambio climático, ya que existe la variabilidad climática natural que ocurre en periodos y lapsos mas cortos de tiempo en una determinada región o país por lo tanto es necesario diferenciar estos dos términos que generalmente son confundidos por muchos investigadores cuando se habla del efecto del cambio climático en las poblaciones de una determinada especie animal o vegetal a nivel ecosistémico, regional o nacional.

El concepto de cambio climático

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, conocido por su sigla en inglés, IPCC, muestra pruebas claras del cambio climático como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero principalmente en los países industrializados por las actividades relacionadas con la quema de combustibles fósiles para generar energía, lo procesos industriales, el cambio en el uso de la tierra, la deforestación, la ganadería y la quema de bosques. Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nítrico, y los residuos orgánicos volátiles entre otros, son en última instancia responsables del calentamiento global (IPCC 2007). La temperatura global media de la superficie ha aumentado aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$ durante los últimos 100 años (Figura 2) lo que significa un incremento de apenas $0,006^{\circ}\text{C}$ por año, lo cual es imperceptible si quisiéramos evaluar el efecto del cambio climático en alguna población de un insecto en un plazo de pocos años. Las estimaciones actuales de los cambios en el clima indican un aumento en la temperatura media global de 1°C para el año 2025 y hasta 3°C para finales del próximo siglo. Esto significa que debemos tener datos de línea base de la abundancia, distribución geográfica, rango altitudinal y latitudinal, tamaño poblacional, comportamiento conductual y de interacciones con sus plantas nutricias y sus enemigos naturales de la especie o especies que se requieren monitorear para cuantificar los cambios en las poblaciones dentro de 20, 30 o 50 años cuando la temperatura global se haya incrementado 1°C o más. Todos los datos que se manejan actualmente para evaluar el efecto del cambio climático con grupos animales están basados generalmente en predicciones y en la modelación, ya que no se tienen datos históricos para soportar cambios relacionados con el cambio climático, a excepción de algunas especies de insectos en Europa y Estados Unidos, pero para la totalidad de las especies de insectos tropicales la información es prácticamente inexistente.

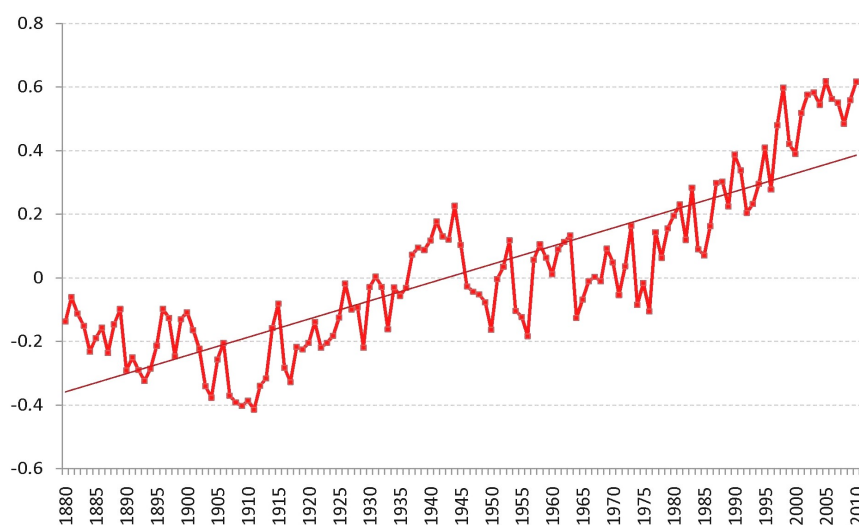


Figura 2. Incremento de la temperatura media global ($^{\circ}\text{C}$) en los últimos 100 años (Fuente IPCC 2007)

El concepto de variabilidad climática

La variabilidad climática, por el contrario, son eventos naturales que se suceden en periodos de tiempo más cortos, como el caso de los periodos El Niño y La Niña. El Niño Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno natural de interacción entre el océano y la atmósfera que ocurre en la región del océano Pacífico tropical, en forma no - periódica, con intervalos que varían entre los 2 y 7 años, aproximadamente (Figura 3 B). En este sistema océano-atmósfera, El Niño corresponde a la componente oceánica y la Oscilación Sur a la componente atmosférica. El Niño Oscilación Sur (ENOS) se manifiesta en el océano como una oscilación entre 2 fases o eventos. La fase cálida (o evento cálido) es conocido como El

Niño, cuando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a lo largo del Pacífico ecuatorial presenta anomalías positivas (calentamiento) (Figura 3A). La fase fría (o evento frío) es conocido como La Niña, cuando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) a lo largo del Pacífico ecuatorial presenta anomalías negativas (enfriamiento) (Figura 3C). En general, durante el fenómeno de El Niño, en la zona cafetera colombiana se registra hasta un 20% de reducción en la precipitación anual. Durante los años en que ocurre La Niña, se registran excesos de precipitación sobre la región andina de Colombia, incluida la zona cafetera. Las anomalías de la temperatura superficial del mar en amplias regiones pueden alcanzar entre 2 a 3 °C por encima de lo normal (Guzmán y Baldión 1999, Jaramillo y Arcila 2009)

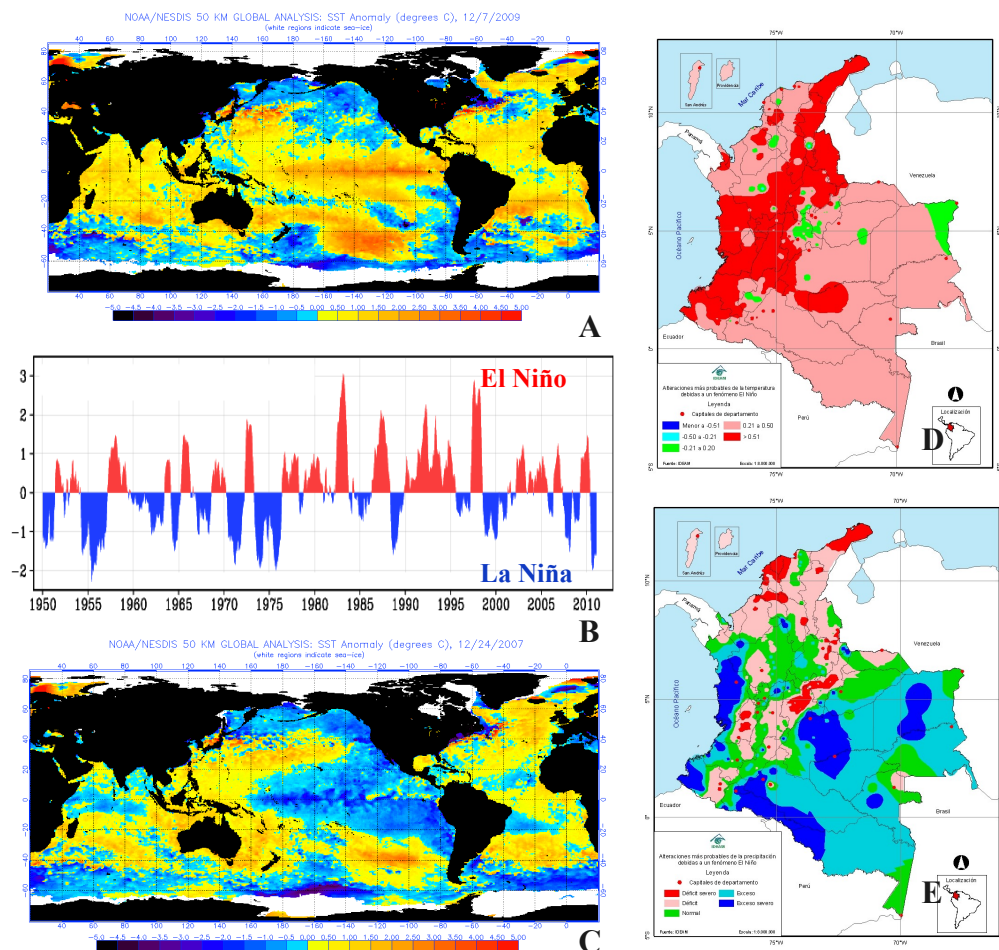


Figura 3. Efectos del Niño en Colombia **A, C.** Temperatura del océano pacifico durante un periodo El Niño y La Niña. **B.** Eventos Niño-Niña en los últimos 60 años. **D-E.** Alteración de la temperatura y las lluvias en el país. Fuente NOAA 2010, IDEAM. 2008.

En los períodos de permanencia del fenómeno El Niño, las temperaturas medias mensuales en la mayor parte del territorio nacional registran valores entre 1,0 y 2,0 °C por encima de lo normal (Figura 3 D). La afectación del régimen de lluvias por el fenómeno El Niño es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional. En términos generales, se ha podido identificar que hay déficit en los volúmenes de precipitación acumulados durante el período de presencia del fenómeno en las regiones Andina, Caribe y en la Orinoquía. En contraste con la situación anterior, las lluvias tienden a ser más abundantes de lo tradicional en el sur de la región Pacífica colombiana, en la vertiente oriental de la cordillera oriental y en algunos sectores de la Amazonía (IDEAM 2.007)

Efecto del fenómeno El Niño y La Niña en la dinámica de infestación de la broca del café.

En un estudio realizado en la zona central cafetera de Colombia (Constantino *et al*, 2010, sin publicar) se evaluó el efecto de la variabilidad climática en la dinámica de infestación de la broca del café en cuatro localidades ubicadas en un gradiente altitudinal entre 1.218 y 1.700 m en la vertiente occidental de la cordillera central en parcelas de *Coffea arabica* de tercera cosecha, de una hectárea de extensión con 5.000 árboles cada una. Para esto se evaluó el porcentaje de infestación de broca en árboles cubiertos con jaula entomológica a partir de frutos brocados infestados de una misma edad colocados en el plato del árbol durante cuatro ciclos productivos y abarcando tres periodos climáticos diferentes (Periodo Neutro 2.007; Periodo La Niña 2.008, Periodo El Niño 2.009 - 2.010). En cada localidad se tomaron los datos diarios de clima de las estaciones meteorológicas de Cenicafé (promedio mensual de temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima, humedad relativa, brillo solar y precipitación de lluvias. Los registros de la temperatura media obtenidos en cada una de las localidades durante tres periodos climáticos diferentes mostraron un incremento de la temperatura media entre 1,2°C y 1,3°C a 1.218 m, 0,9°C y 1,2°C a 1,381 m, 1,6°C y 1,9°C a 1.470 m y de 1,2°C y 1,5°C a 1.700 m de altitud durante el fenómeno El Niño 2.009 y 2.010 con respecto a un periodo climático neutro (Figuras 4 y 5).

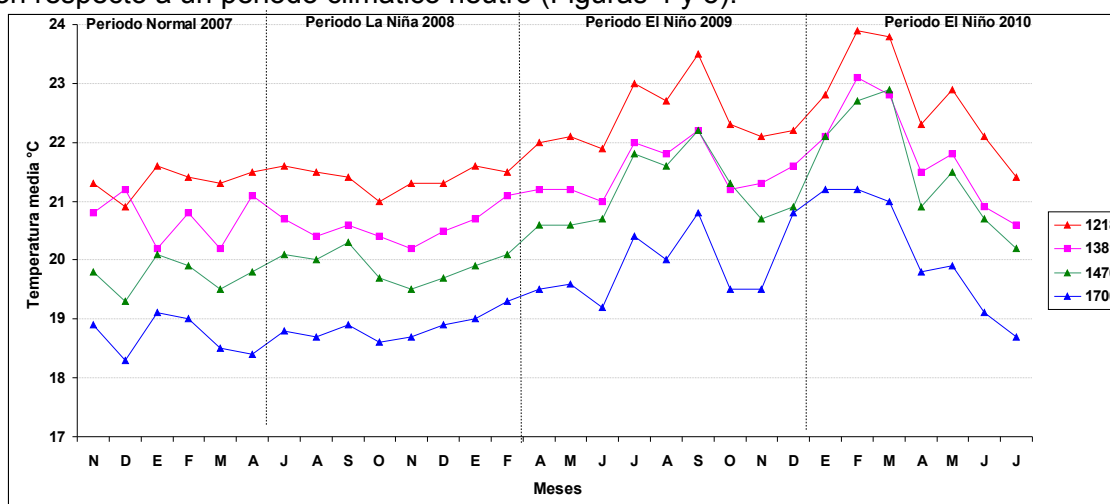


Figura 4. Variación de la temperatura media mensual registrada en cuatro localidades a 1218 m, 1381 m, 1470 m, 1700 m durante el periodo 2007-2010.

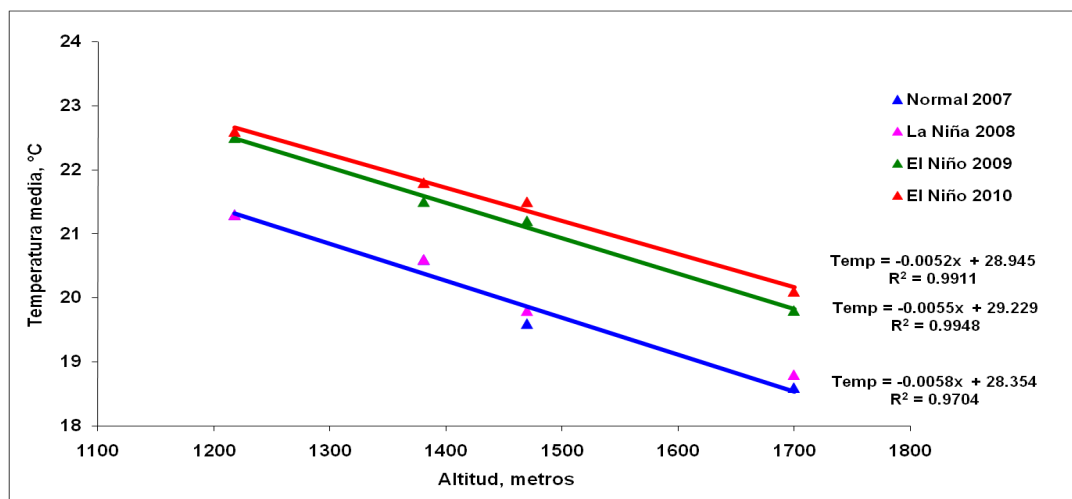


Figura 5. Incremento de la temperatura media registrada durante un periodo climático El Niño en comparación con un periodo La Niña y un periodo Neutro en cuatro localidades a través del tiempo (Fuente: Constantino *et al.* 2010).

Las lluvias presentaron un comportamiento bimodal, siendo los meses de enero y julio los mas secos, sin embargo para la segunda fase del proyecto se presentó un periodo climático La Niña muy intenso, siendo este el periodo más lluvioso registrado en los últimos 50 años para la zona central cafetera según los promedios históricos de lluvias reportados para cada una de las localidades del estudio. Para la tercera y cuarta fase del estudio en el periodo comprendido entre abril y diciembre de 2.009 y entre enero y junio de 2.010 se presentó un periodo climático El Niño bastante prolongado que trajo como consecuencia una disminución de las lluvias durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2.009 y durante los meses de enero, febrero y marzo de 2.010 con respecto al promedio histórico mensual (Figura 6).

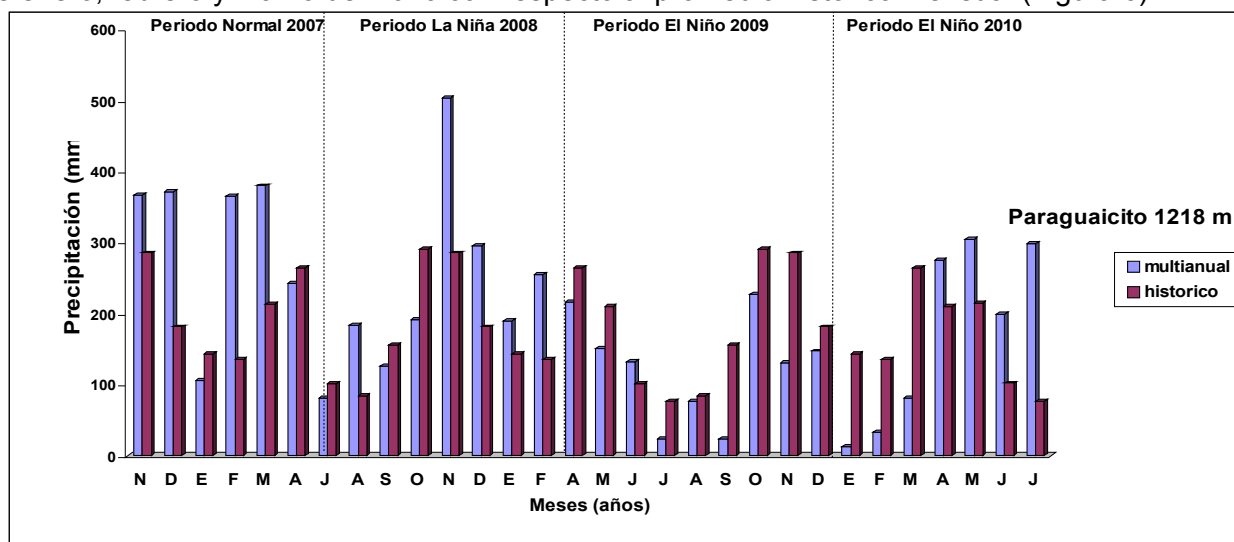


Figura 6. Registro de la precipitación de lluvias para la localidad de Paraguaicito, Quindío a 1218 m, con relación al promedio histórico mensual (Fuente: Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé).

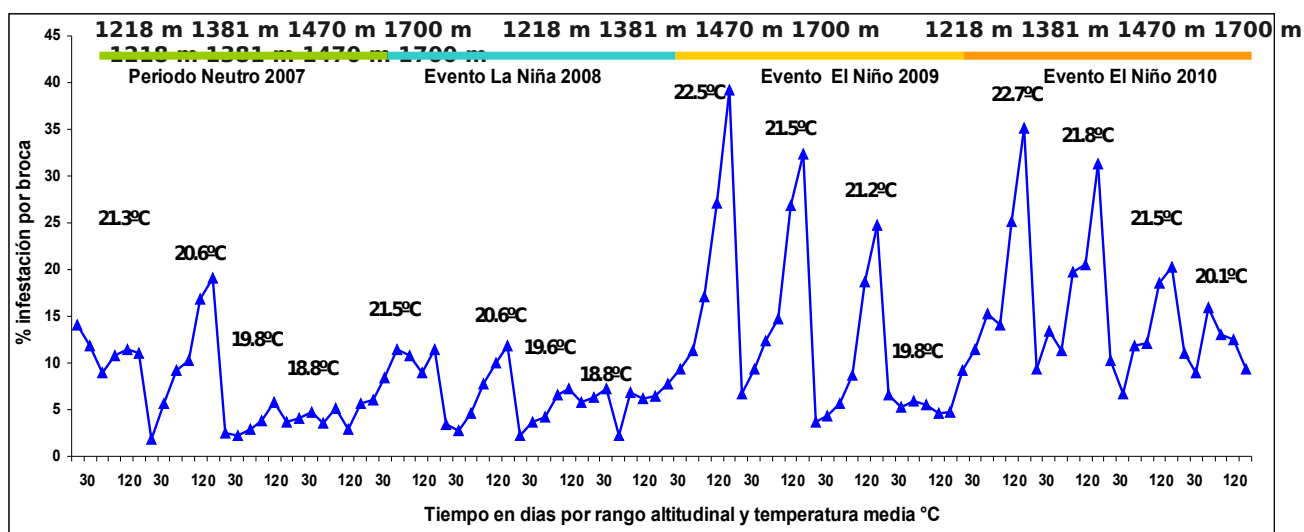


Figura 7. Efecto de la temperatura ambiente en el porcentaje de infestación por broca en cuatro altitudes durante tres eventos climáticos diferentes a través del tiempo.

Los porcentajes de infestación muestran que con un incremento de 1,2°C en la temperatura media durante un evento climático El Niño incrementa los niveles de infestación en el árbol al final del ciclo productivo en 28,1%; 13,3%; 21,1%; y 0,8% a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m, y 1.700 m respectivamente en comparación con un periodo neutro y de 27,8%; 20,6%; 19,0%; y 1,7 % a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m, y 1.700 m con respecto a un periodo La Niña en las mismas localidades (Figura 7).

Estos niveles de infestación en el árbol se producen en gran medida por los frutos brocados que quedan en el suelo y en el árbol después de la cosecha y que sirven de reservorio para infestaciones posteriores en el árbol. Para corroborar esto se colocaron frutos secos infestados artificialmente con brocas con un promedio de $6,5 \pm 1,5$ estados biológicos por fruto en jaulas de emergencia impregnadas con pegante biotrampa. Los promedios de captura obtenidos para cada localidad con las trampas muestran que la broca continua desarrollándose en los frutos del suelo durante 140 ± 10 días. Las mayores capturas se dan durante periodos secos con temperaturas del aire superiores a 22,5°C en localidades bajas y son menores en las localidades más altas. Los resultados del total acumulado de capturas de broca a 1.218 m, 1.381 m, 1.470 m y 1.700 m fue de 4.717, 3.427, 2.091 y 879 adultos respectivamente durante un periodo El Niño en comparación con un periodo La Niña, donde el total de capturas fue de solo 461, 331, 671 y 186 adultos en las mismas localidades (Fig. 8). Los resultados de este estudio nos muestran que la temperatura es la variable que más influye en el desarrollo de la broca del café, ya que los ciclos de vida se aceleran produciendo mayor cantidad de progenies en menor tiempo en comparación a temperaturas más bajas donde el ciclo de desarrollo es más lento y prolongado. Estos datos ilustran muy bien el efecto que tiene el incremento de la temperatura media del aire durante periodos climáticos El Niño en la dinámica de infestación de la broca del café a diferentes altitudes en la zona central cafetera de Colombia. Con un aumento proyectado en la temperatura media anual del aire para el territorio nacional entre 1°C y 2°C y variaciones en las precipitaciones de ± 15 % para los próximos 50 años podemos ya predecir el impacto severo que tendrá la broca del café en cultivos ubicados en localidades por debajo de los 1.300 msnm con temperaturas superiores a 21°C.

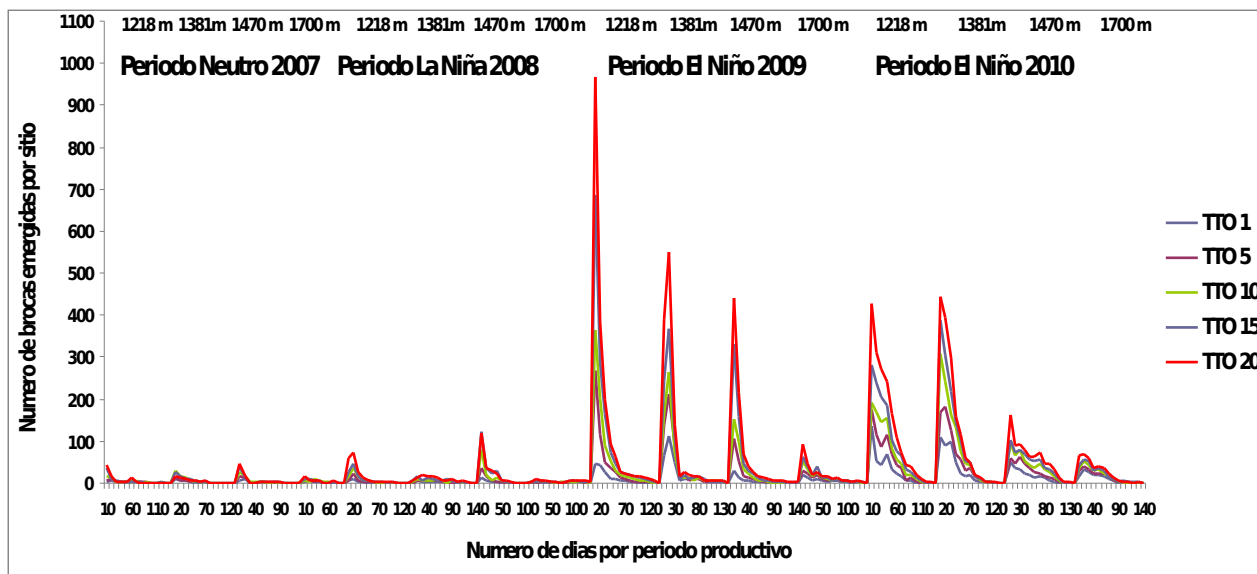


Figura 8. Emergencia de brocas adultas de frutos del suelo durante tres periodos climáticos diferentes en cuatro altitudes.

Estos datos nos muestran que existe una correlación lineal positiva con la temperatura, la tasa de desarrollo y la emergencia de la broca de los frutos brocados; A mayor temperatura del aire, mayor es el numero de emergencia de brocas de los frutos del suelo y por consiguiente mayor el nivel de infestación y daño en el cultivo.

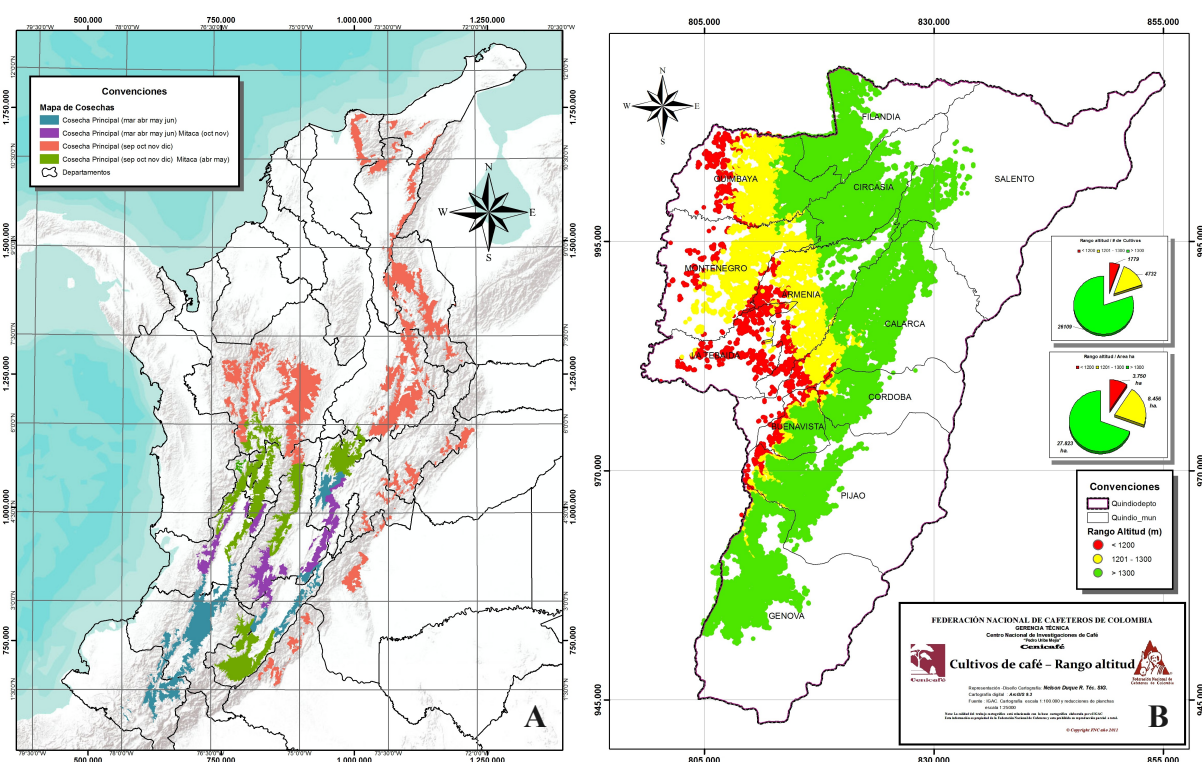


Figura 9. A. Mapa de cosechas y distribución de los cultivos de café en Colombia. **B.** Cultivos de café por rango altitudinal y área por cada municipio en el departamento del Quindío. Fuente: FNC-SICA 2011. Elaboró Nelson Duque, Cenicafé.

Mapas de riesgo de infestación por broca

La incidencia de El Niño en la zona cafetera de Colombia esta asociada a la deficiencia hídrica en el suelo, siendo mas critico para la zona cafetera central (entre los 3° y 7° Norte) y para altitudes menores a los 1.300 m en sitios con una temperatura media mayor a 21,5°C (Mapa 9A).

Teniendo en cuenta que por cada 100 m de altitud hay una diferencia de 0,7°C- 0,8 °C en la zona andina, durante un evento climático de El Niño la temperatura media se incrementa entre 1,0 y 1,5°C en cada piso térmico, y por consiguiente la infestación por broca, la cual es critica en altitudes menores a los 1.300 m. Para dimensionar el verdadero impacto de las áreas que representan mayor riesgo de infestación por broca frente al cambio climático, miremos el departamento del Quindío, utilizando la base de datos del sistema de información cafetera SICA de la gerencia técnica de la Federación Nacional de Cafeteros, donde se discriminaron los cultivos de café por debajo de la cota atlitudinal de 1.200 m, los cultivos entre 1.200 m y 1.300 m y los cultivos por encima de 1.300 m. El análisis del sistema de información cafetera SICA indica que 1.779 cultivos se encuentran por debajo de los 1.200 m, 4.732 cultivos se encuentran entre 1.200 y 1.300 m y 26.109 cultivos por encima de los 1.300 m, lo cual representa en área sembrada 3.750 ha de café por debajo de 1.200m, 8.456 ha de café entre 1.200 y 1.300 m y 27.823 ha de café por encima de la cota altitudinal de los 1.300 m, representando los sitios críticos en color rojo y los vulnerables en color amarillo en la franja de los 1.200-1.300 para un evento climático El Niño (Mapa 9 B). Este análisis muestra que el mayor riesgo de infestación por broca está concentrado en las partes bajas de los municipios de la Tebaida, Quimbaya, Montenegro y Armenia.

Con esta información y las predicciones climáticas hacia el futuro se pueden desarrollar estrategias de control y manejo de la broca del café para generar alertas tempranas en relación con el cambio y la variabilidad climática para que los caficultores puedan tomar medidas de control oportunas en determinadas épocas o periodos críticos de infestación de la broca en la región andina del país, tomando en cuenta las recomendaciones que da Cenicafé para el manejo integrado de esta plaga.

Literatura citada

- BAKER, P.; LEY, C.; BALBUENA, R.; BARRERA, J.F. 1992. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Scolytidae) from coffee berries, Mexico. Bulletin of Entomological Research 82: 145-150.
- BENAVIDES, P. 2008. Aspectos genéticos relacionados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), Capítulo17, p. 284 -297. Editor A. E. Bustillo P. En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC – Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda., Manizales, 466 p.
- BERGAMIN, J. 1943. Contribuicao para o conhecimento da biología da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867). Arquivos do Instituto Biológico, Sao Paulo 14:31-72.
- BUSTILLO, A.E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32(2): 101-116.
- BUSTILLO, A.E. 2008. Aspectos sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. , Capítulo 33, p. 389 -418. Editor A. E. Bustillo P. En: Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. FNC – Cenicafé, Chinchiná (Colombia). Editorial Blanecolor Ltda., Manizales, 466 p.
- CARDENAS, R. 1991. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) En: Seminario sobre broca del café. Socolen, Medellín, 21 Mayo de 1990. Miscelánea No. 18: 1-13.
- CONSTANTINO, L. M.; GIL, Z. N.; JARAMILLO, A.; BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E. 2010. Efecto del fenómeno El Niño y La Niña en la dinámica de infestación de la broca del café *Hypothenemus hampei* en un gradiente altitudinal en la cordillera central colombiana. Libro de Resúmenes XXXVII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN, Junio 30-Julio 2, Bogotá, Colombia. p. 124.
- CONSTANTINO, L. M. 2010. La broca del café, un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. Brocarta, Cenicafé, Chinchiná. No. 39. 2 p.
- DEUTSCH, CA.; TEWKSBURY, J.J.; HUEY, RB.; SHELDON, KS.; GHALAMBOR, R. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 105: 6668–6672.
- GUZMAN, O.; BALDION, J.V. 1999. Influencia del evento frio del pacifico en la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafé 50(3): 222-237.
- HILL, J.; GRIFFITHS, H.; THOMAS, C. 2011. Climate change and evolutionary adaptations at species range margins. *Annual review of Entomology* 56: 143-149.

- IDEAM. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá. 97 pp.
- IPCC. 2007. Panel intergubernamental sobre cambio climático. Cambio climático : Base de ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al cuarto informe de evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge Reino Unido y Nueva York, EEUU. 139 p.
- JARAMILLO, A.; ARCILA, J. 2009. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de el Niño y su efecto en la caficultura. Avances técnicos Cenicafé. 390: 1-8.
- JARAMILLO, J.; CHABY-OLAYE, A.; KAMONJO, C.; JARAMILLO, A.; VEGA, F.; POEHLING, H.; BORGEMEISTER, C. 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. PlosOne 4(8):1-11.
- JARAMILLO, J.; CHABY-OLAYE, A.; BORGEMEISTER, C. 2010. Temperature-dependent development and emergence pattern of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae) from coffee berries. J. Econ. Entomol. 103(4): 1159-1165
- MENDES, L. 1949. Determinacao do potencial biótico da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) e consideracoes sobre o crescimento de sua populacao. Bragantia 9(12): 215-226.
- MENENDEZ, R. 2007. How are insects responding to global warming? Tijdschrift voor Entomologie 150: 355–365.
- MONTOYA, S.; CARDENAS, R. 1994. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. Revista Cenicafé 45:5-13.
- PARMESAN, C.; ROOT, T.L.; WILLIG, M.R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. Bulletin of the American Meteorological Society 81: 443-450.
- PARMESAN, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual. Rev. Ecol. Evol. Syst. 37: 637-669.
- ROBINET, C.; ROQUES, A. 2010. Direct impacts of recent climate warming on insect populations. Integrative Zoology 5: 132- 142.
- ROMERO, J.V. 2003. Evaluación de resistencia por antibiosis a *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) en introducciones de café *Coffea* sp. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Tesis: Ingeniero Agrónomo, Bogotá, Colombia. 68 p.
- RUIZ, R. 1996. Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo, Manizales, Colombia. 87 p.
- RUIZ, L.; BUSTILLO, A.E.; POSADA, F.J.; GONZALEZ M, T. 1996. Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas meridicas. Revista Cenicafé 47(2):77-84.

- SALAZAR, M. R.; ARCILA, J.; RIAÑO, M.M.; BUSTILLO P., A.E. 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. Avances Técnicos Cenicafé No. 194: 1-4.
- THOMSON, L.; MACFADYEN, S.; HOFFMANN, A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. Biological Control 52:296-306.
- VARGAS, B. I. 2006. Evaluación de germoplasma de café etiope (*Coffea arabica*) por resistencia a *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae) en campo y en condiciones controladas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Tesis de maestría: Ingeniero Agrónomo, Bogotá, Colombia. 76 p.
- WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T., GULDBERT, O., BAIRLEIN, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature 416:389-395.